

天体の日周運動をとらえる工夫

— 太陽の場合を中心に —

岩 田 伸

小学校では、天体の日周運動をとらえることが、天体の学習の出発点であり、中核である。けれども、天候その他の要因から、学習に活用できる記録がとりにくい場合が多い。ここでは、児童の記録をもとにして、学習への活用の可能性と限界をさぐろうとした。その結果、記録を補うという場合も考慮しておく必要があることがわかった。そのためには、ウルフネット等の利用が有効である。

1. はじめに

天体の学習を進めていると、次のような問題場面にぶつかる。・観察してくるのを忘れた。・くもっていて見えなかった。・観察はしたが、記録はとれなかった。・8時には記録がとれたが、9時にはくもって見えなかった。・いいかげんな記録で使用に耐えない。・記録したが、基準を動かしてしまっただけで変化がつかめない。・どの天体に眼をつけて記録したのか本人にもわからない。・1サイクルや、年間についての変化をまとめようとすると、前の記録が散逸していて見つからない。・太陽の場合には、眼をいためる。

これらの原因は、動機づけの強弱、天候の良否、観測器具の種類、観測方法の適否、記録方法の理解度、等によるものと考えられる。どんなに条件が悪い場合でも、観測記録がとれるという方法があればよいのであるが、そんなことは望めない。

そこで、どうしても記録がとれない場合のことを考慮して、次善の策を検討する必要がある。

2. 天体の日周運動の軌跡

天体は、毎日東から上って西に沈む。あたかも天球が天体をのせたまゝ、東から西へ回転しているように見える。この日周運動をとらえるという活動が、小学校の天体教材での学習の中核である。

その原理 天体の視位置は、それぞれの距離にある天体を無限大の半径をもつ天球上に投影したものであるから、それを表す適当な単位は角度だけである。この角度を、どこを基準にとって測るかという違いによって、地平座標(図1a)と、赤道座標(図1b)とがある。

図1a・bの天体Hは、同一の天体である。赤道座標で表された天体Hは、球面三角形を解くことにより、地平座標に変換できる。

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t \dots\dots\dots ①$$

$$\sin A = \sin t \cos \delta / \cos h \dots\dots\dots ②$$

一方、天体の視位置は、時間経過とともに刻々変化するが、恒星時と日本標準時の変換式は、

$$S = (T - 9) \times 1.00273791 \times S_0 + \lambda \dots\dots\dots ③$$

$$\text{また, 図1 bにより, } t = S - \alpha \dots\dots\dots ④$$

それぞれの符号は, 次の通り。

h ; 天体の高度

A ; 天体の方位角

φ ; 観測地の緯度

λ ; 観測地の経度

α ; 天体の赤経

δ ; 天体の赤緯

S ; 恒星時

T ; 日本標準時

t ; 天体の時角,

図1. 座 標 系

S_0 ; グリニッチ視恒星時

その実際 任意の時刻における天体の位置は, 次のようにして求めることができる。③式から, 任意の日本標準時における恒星時 S が求められる。 S_0 は, 理科年表等によっている。次に, ④式から時角 t が求められる。時角 t が求められると, ①・②式により, 日本標準時 T における h と A が求められる。 δ は, 理科年表から求められるし, φ, λ は, 五万分の一の地図から読みとれる。最近, 優秀な小型の卓上計算機が, 手軽に入手できるので比較的短時間に計算できる。このようにして, 1979年の太陽の日周運動を, 春, 夏, 秋, 冬について計算してみた結果が, 表1である。

表1. 新潟(139° 02', 37° 55')における太陽の日周運動

日本標準時	3/21 春 分		6/22 夏 至		9/24 秋 分		12/22 冬 至	
	高 度	方位角	高 度	方位角	高 度	方位角	高 度	方位角
5:00	—	—	5° 42' 34	-115° 23' 13	—	—	—	—
6:00	1° 48' 42	-88° 44' 32	16 46 03	-106 57 52	—	—	—	—
7:00	13 16 03	-79 18 21	28 19 30	-98 47 20	4° 30' 18	-86° 31' 17	—	—
8:00	24 40 17	-68 54 37	40 08 33	-89 51 56	16 13 45	-76 42 51	—	—
9:00	35 12 58	-56 29 28	51 57 02	-79 47 01	27 27 45	-65 54 37	9° 30' 54	-50° 04' 56
10:00	44 08 02	-40 41 04	63 15 36	-64 48 15	37 40 24	-52 45 29	17 49 35	-38 44 21
11:00	50 11 45	-20 20 15	72 35 22	-36 56 07	45 59 10	-35 51 26	24 09 25	-25 35 55
12:00	51 54 30	4 38 42	75 10 03	13 31 13	51 03 38	-14 22 25	27 52 32	-10 48 17
13:00	48 49 05	26 43 44	68 23 07	53 18 48	51 32 29	9 46 51	28 29 44	4 50 23
14:00	41 46 21	45 42 46	57 44 59	73 08 57	47 16 09	32 03 03	25 55 29	20 05 27
15:00	32 16 39	60 23 04	46 06 05	85 16 12	39 27 56	49 49 23	20 31 24	33 54 58
16:00	21 25 14	72 05 13	34 14 53	94 33 41	29 32 27	63 35 16	12 53 54	45 55 52
17:00	9 51 52	82 06 24	22 31 50	102 51 44	18 27 18	74 44 53	3 39 32	56 17 38
18:00	—	—	11 11 23	111 05 10	6 47 39	84 30 14	—	—
19:00	—	—	0 28 52	119 50 22	—	—	—	—

この表1のデータは, いくつかの仮定を含んでいる。すなわち, 太陽の赤緯・赤経が1日の中で変化しないものとした。大気差の影響を無視している。太陽の赤緯・赤経は, 太陽の中心点の値である。

3. 実測値との比較

1978年12月27日，計算値

表2. 太陽の日周運動，実測値と計算値

と比較するため実測を試みた。測定にはセオドライト（日本光学製）を対物レンズ前に，溶接用遮光ガラスNo.13をつけて使用した。その結果を計算値と比較したのが表2である。

実測値と計算値は，おおむね一致している。両者の差をとってみると，高度は，常に計算値に比べて高く，方位角は，常に負である。高度の実測値が測定値より高くなるのは，大気差のためであると考えられる。方位角が負であるのは，計器のセットのしかたによるものである。平均し

時刻	実 測 値		計 算 値		実測値－計算値	
	高 度	方 位 角	高 度	方 位 角	高 度	方 位 角
9:00	17° 38'	-39° 21'	17° 34'	-39° 19'	+ 4'	- 2'
9:30			21 04	-33 01	-	-
10:00	24 02	-26 19	24 00	-26 15	+ 2	- 4
10:30	26 19	-19 08	26 18	-19 03	+ 1	- 5
11:00	28 09	-11 41	27 51	-11 30	+18	-21
11:30	28 56	- 3 56	28 39	- 3 42	+17	-13
12:00	28 55	3 56	28 37	4 10	+18	-14
12:30	28 05	11 43	27 47	11 56	+18	-14
13:00	26 17	18 54	26 11	19 29	+ 6	-35
13:30	23 59	26 03	23 51	26 39	+ 8	-36
14:00	21 03	32 48	20 53	33 24	+10	-36
14:30	17 33	39 04	17 21	39 40	+12	-37
15:00	13 50	44 54	13 26	45 30	+24	-36
15:30	9 13	50 17	8 55	50 54	+ 9	-38
16:00	4 33	55 19	4 05	56 00	+29	-41

て-23' ほどであるので，真の南北より，23' ばかり西へずれてセットしたためであろう。また，時刻によって，多少のばらつきがみられるのは，視野の中での太陽像の中心を見定めることが困難だったことによるものと考えられる。

児童の測定では，角度の0.5度がせい一杯の精度であるから，大気差を考慮する必要はない。測定器セットの際の水平と，方位角測定のための基準が問題となる。

4. 児童の測定値の検討

子どもは，どの程度の記録をとることができるのだろうか。6年「季節と太陽」の単元学習中に，新潟市立上所島小学校児童がとった記録を計算値と比べてみたのが，表3である。これを見ると，6年児童としては，大変高い精度の記録がとれていることがわかる。

上所小は，当センターの研究協力校として，本単元の実践を4月以来積み重ねてきた。観測器具は工夫され観測技術も身につけてきた時点の記録であるの

表3. 児童の記録値と計算値

7月29日	実 測 値		計 算 値	
	高 度	方 位 角	高 度	方 位 角
9:00	48°	S 74° E	48° 22'	-74° 41'
10:00	59	58	59 18	-59 00
11:00	68	36	67 56	-33 01
12:00	71	8W	70 40	7 17
13:00	65	42	65 25	43 30
14:00	56	65	51 20	71 11
15:00	45	80	44 20	78 54
16:00	32	92	32 39	89 04

で，ふつうはもっと精度が落ちると考えなくてはならない。しかし，これは，指導によっては，たいへん高精度の記録がとれることを示す好例である。

表3の実測値は，グループごとの観測結果の平均値をとったという。それでは，グループ間のばらつきはどうなっているのだろうか。その一例が，表4である。これを見ると，高度は，非常によく一致しているのに，方位角が一致していないことがわかる。

7班と8班で、高度がよく一致しているのは、観測器具の水平がともによく調整されているためであろう。方位角が違っているが、よくみると両班の差は常に12~13度であることがわかる。この違いは、明らかに観測器のセット時のものであり、セットする時、方位磁針に頼った結果である。

「高度が一致しているのに、方位角の示度が違う原因は何か」と子どもたちにその原因を発見させることも有意義であろう。けれども、季節によっての違いを探ろうとすると、春~冬でそれぞれ、方位の基準が異ったデーターを比べようとするのは、無理が感じられるし、非能率的でもある。また補正を加える必要もでてくる。

この種の測定は、校舎の屋上で、方位磁針を頼りに南北を決めてセットする場合が多い。筆者は、鉄筋校舎の屋上で、どの程度、方位磁針が信頼できるのかを当センターの屋上で調査してみた。南北方向と東西方向に巻尺を置き、1mごと45地点について、クリノメーターの針を読みとった。その結果、最高値と最低値では、60度もの振れ幅があることがわかった。コンクリートの上に、じかに置いたためかと考え、木製の机(高さ75cm)をもちだし、同じ地点で、机土での振れ幅も調べた。それでも、30度の差があった。したがって、コンクリートにじかに置いた場合は、60度、机上でも30度の方位角のずれが生じてくることになる。

方位磁針に頼るのではなく、まっすぐなコンクリートのみぞなどを基準にセットした方がよいといえる。どうせ、基準を設けるのなら、校庭や屋上の一隅に観測コーナーを作り、南北線をきめて白ペンキ等で書いて固定しておくことを提案したい。

南北線が固定されていて、それを基準に測定器をセットすれば、グループ間でのデータ、季節間でのデータのばらつきは、著しく少なくなると思われる。

5. ウルフネットの利用

小・中学校で扱う日周運動の記録には、角度の分や秒の精度は、必要でない。その精度ならば、ウルフネットを利用して図形的に求められる。ウルフネットは、球面上の座標を平面に投影したものである。(図2)

例として、新潟(約北緯38°)における夏至の日の太陽の日周運動を調べる。まず、ウルフネットの上に、トレーシングペーパーを重ねて、ネットの中央に×印をつけ、そこを観測地Oとする。地平線、天頂、天の北極などを記入する。次に、トレーシングペーパーを、Oのまわりに回転して、ウルフネットの極と天の北極をあわせる(図3b)。この時、ウルフネ

表4. グループによるちがい

10月26日	7 班		8 班	
	高 度	方位角	高 度	方位角
8:00	18°	S 40°E	20°	S 53°E
9:00	28	31	29	45
10:00	35	17	35	30
11:00	39	2	39	13
12:00	39	21W	39	8W
13:00	35	39	35	26
14:00	28	58	28	45
15:00	19	65	19	60
16:00	8	88	9	75

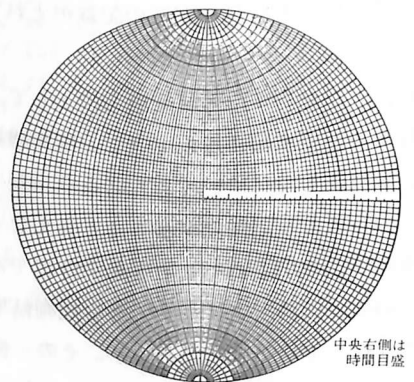


図2 ウルフネット

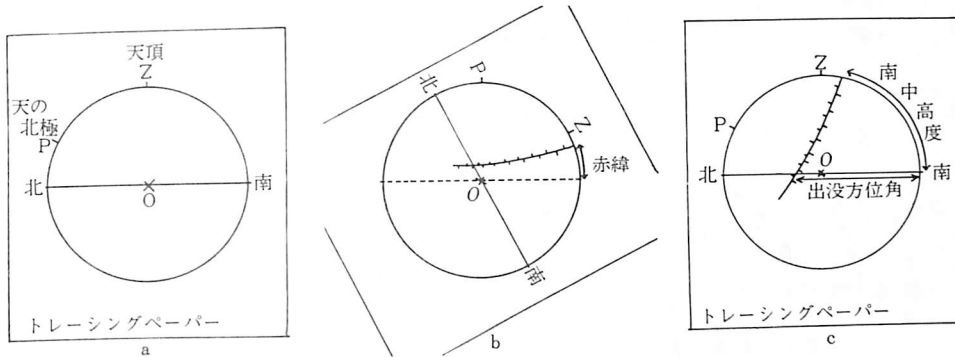


図3 ウルフネットの利用

ットを、赤道座標に見たてている。夏至の日の太陽赤緯は、 $+23.4^\circ$ であるから、ネットの 23.4° に相当する小円にそって曲線をひく。南中時刻から、それぞれの時刻がプロットできる。(図3b)

さらに、天頂Zが極に一致するようにトレーシングペーパーを、Oのまわりに回転させれば、地平座標に変換したことになる、夏至の日の太陽高度・方位角が

表5. ウルフネットからの太陽高度・方位角

日本標準時	3/21 春分		6/22 夏至		9/24 秋分		12/22 冬至	
	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角	高度	方位角
5:00	—	—	6°	S 114° E	—	—	—	—
6:00	2°	S 88° E	16	106	8°	S 84° E	—	—
7:00	14	79	29	98	19	75	0	S 60° E
8:00	25	69	40	90	30	64	10	50
9:00	36	56	52	79	40	50	18	38
10:00	44	40	63	64	48	32	24	25
11:00	50	20	72	36	52	10	28	11
12:00	52	4	75	14W	51	14W	28	5W
13:00	48	27	68	54	45	37	26	20
14:00	42	46	58	72	38	53	20	34
15:00	33	60	46	85	27	67	13	46
16:00	21	72	34	94	16	76	4	56
17:00	10	82	22	102	4	87	—	—
18:00	—	—	11	110	—	—	—	—
19:00	—	—	0	119	—	—	—	—

読みとれる。曲線ABがその日の半日周弧である(図3C)。理科年表とウルフネットがあれば、任意の月日の日周運動の高度と方位角がわかる。この方法で、1979年の太陽高度と方位角を求めてみた(表5)。これを、計算で求めた表1と比べてみると、おおむね一致していることがわかる。

6. 実際の指導にあたって

日周運動をとらえるデータは、計算によったり、ウルフネットを利用しても得られることをみてきた。これらの方法で得られたデータを使って、実際の観測指導がおろそかになったとしたら、それは本意ではない。あくまでも、子どもたちにデータをとらせるべきであり、データをとろうとする活動こそが、大切なのである。上記の方法は、どうしてもデータが得られなかった時の補助資料としての役割をもつべきであろう。

太陽の見かけの動きをとらえるには、種々の方法がある。位置測定器で、高度、方位を読みとる方法、透明半球に直接プロットする方法、日影曲線を用いる方法……等である。それぞれ、長短があるので、

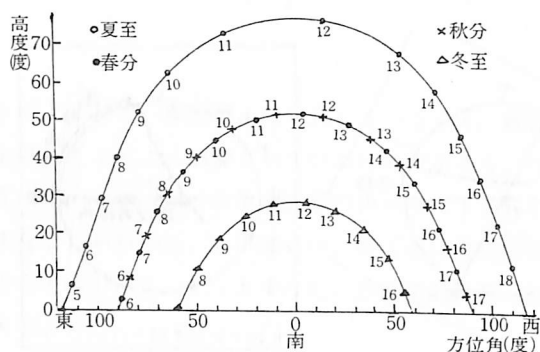


図4 太陽の高さと方位

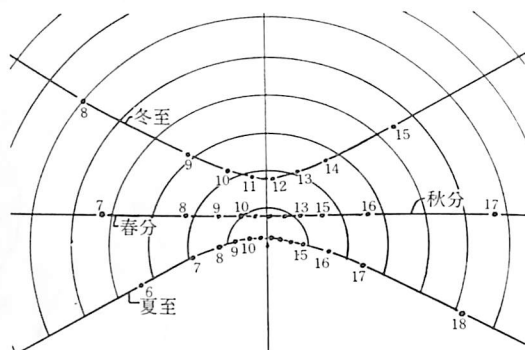


図5 日影曲線

グループごとに、異った方法で記録したり、1グループで手わけをして、二通りの方法で記録したりして、それを統合するという方向で学習を進めたい。

位置測定器のデータをグラフ化した子ども達は、図4のグラフから、1時間に動く太陽の速さが違うと主張する。夏至の正午ころの太陽は、すごく速く動くというのである。また、それとは逆に、日かげ曲線のデータから、夏至の正午ころの太陽の動きは、一番小さいと主張する(図5)。透明半球に直接プロットした子どもは、いつも等しいと主張する。

これらのデータをつきあわせて話し合うことの中で、空間的な見方が育ってくるし、天球の考えも、時間的な考えも、より確かなものとなると考えられる。

太陽は、直視すると眼をいためるので観察には充分注意する必要がある。溶接用の遮光ガラスが、比較的安価に入手できるので、No.13かNo.14を利用するとよい。また、カメラレンズの前に遮光ガラスNo.14をかぶせ、シャッターを開放(B)にして撮影すると、図6のような写真がとれる。

7. おわりに

6年「季節と太陽」の単元の指導を念頭において述べた。しかしこれらは、太陽のみでなく、他の天体の日周運動へも応用できる。他の天体の場合はどうか。太陽の軌跡の写真撮影も試行錯誤の段階である。また、日没の時刻や方位角を問題にすると、どうしても大気差を無視するわけにいかなくなる。これらの検討は、今後の課題である。



図6 太陽の日周運動の軌跡

文 献

- 1) 天文観測年表編集委員会: 天文観測年表, 地人書館 (1979)
- 2) 鈴木敬信: 新天文学通論, 地人書館 (1964) 28~51
- 3) 尾形 斉: 教師のための天文学, 恒星社 (1976) 64
- 4) 東京天文台: 理科年表 昭和53年版 丸善 (1978) 曆8~46
- 5) 宮本正太郎: 概論天文学, 地人書館 (1963) 1~24